

Revisão - MOS

Transistores MOS

Transistores Bipolares

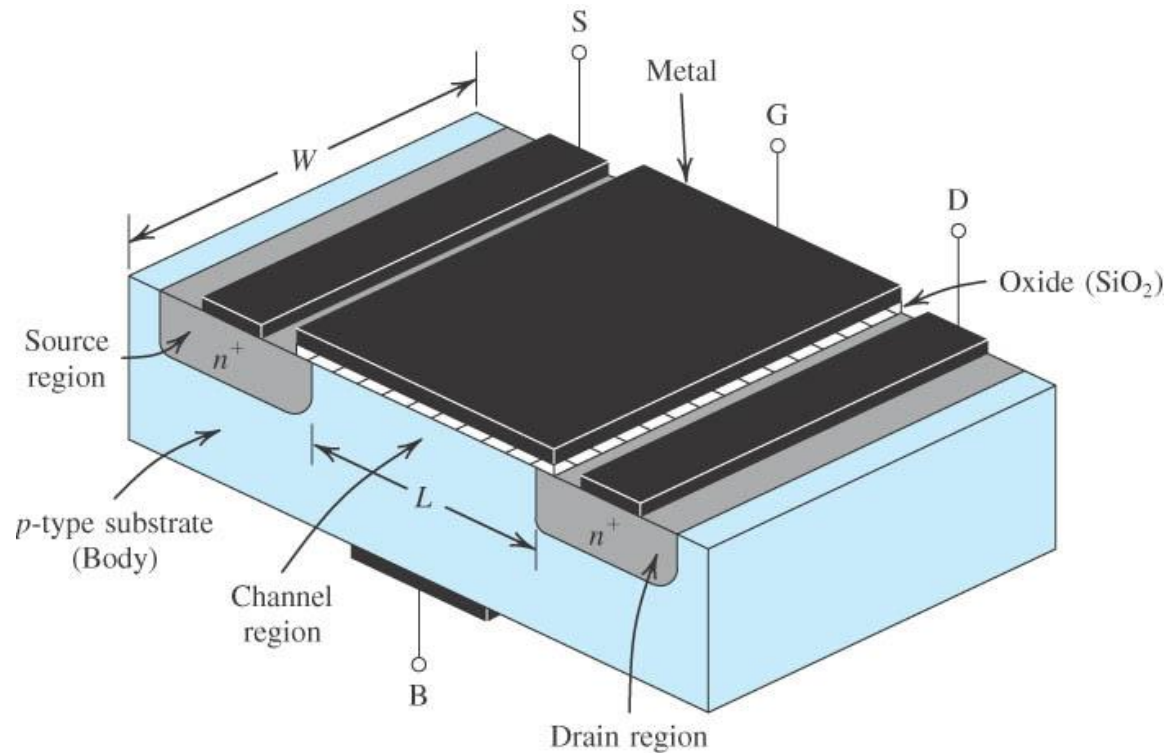
Amplificadores

Resposta em Frequência

Transistores MOSFET

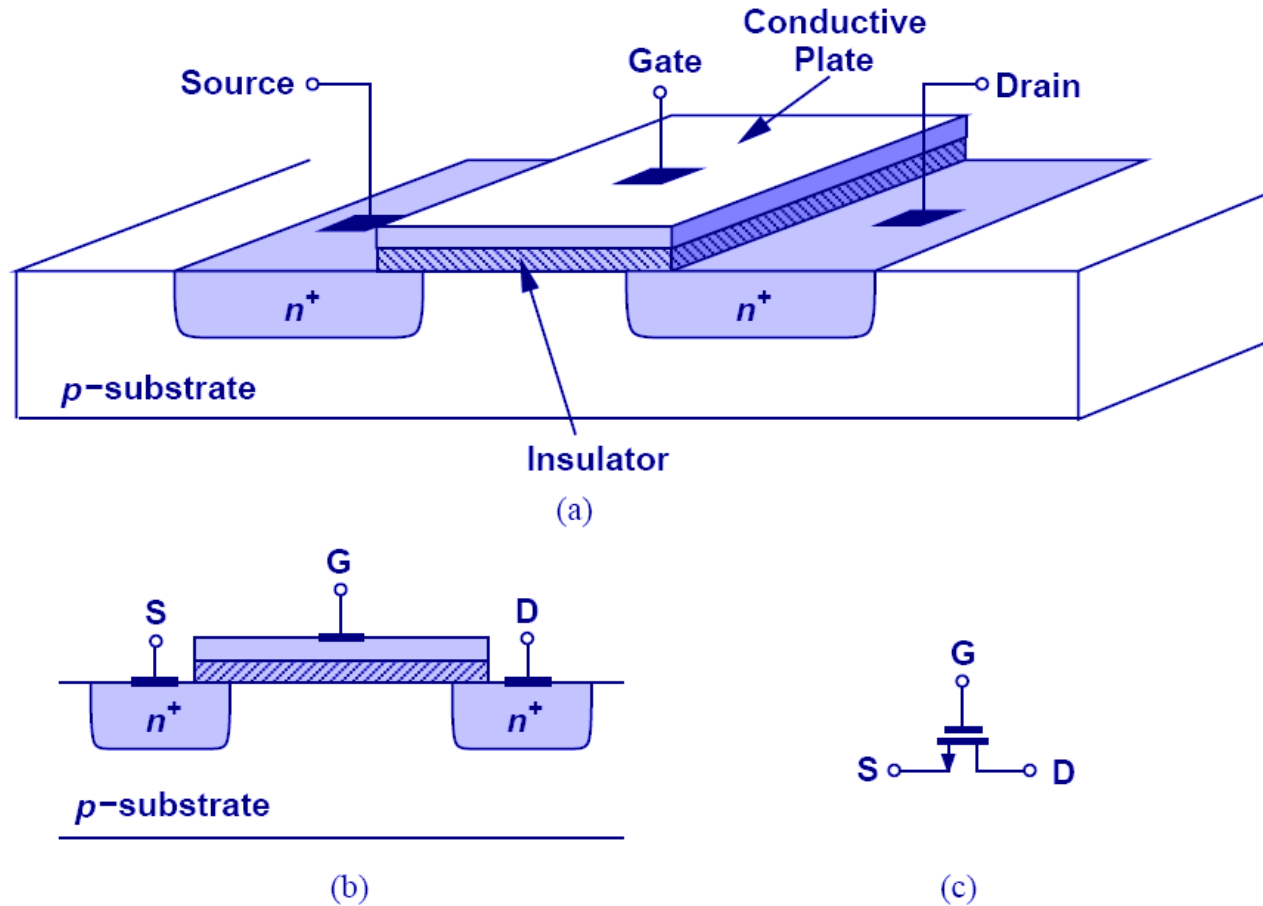
Transistores MOSFET

(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor)



Transistores MOSFET

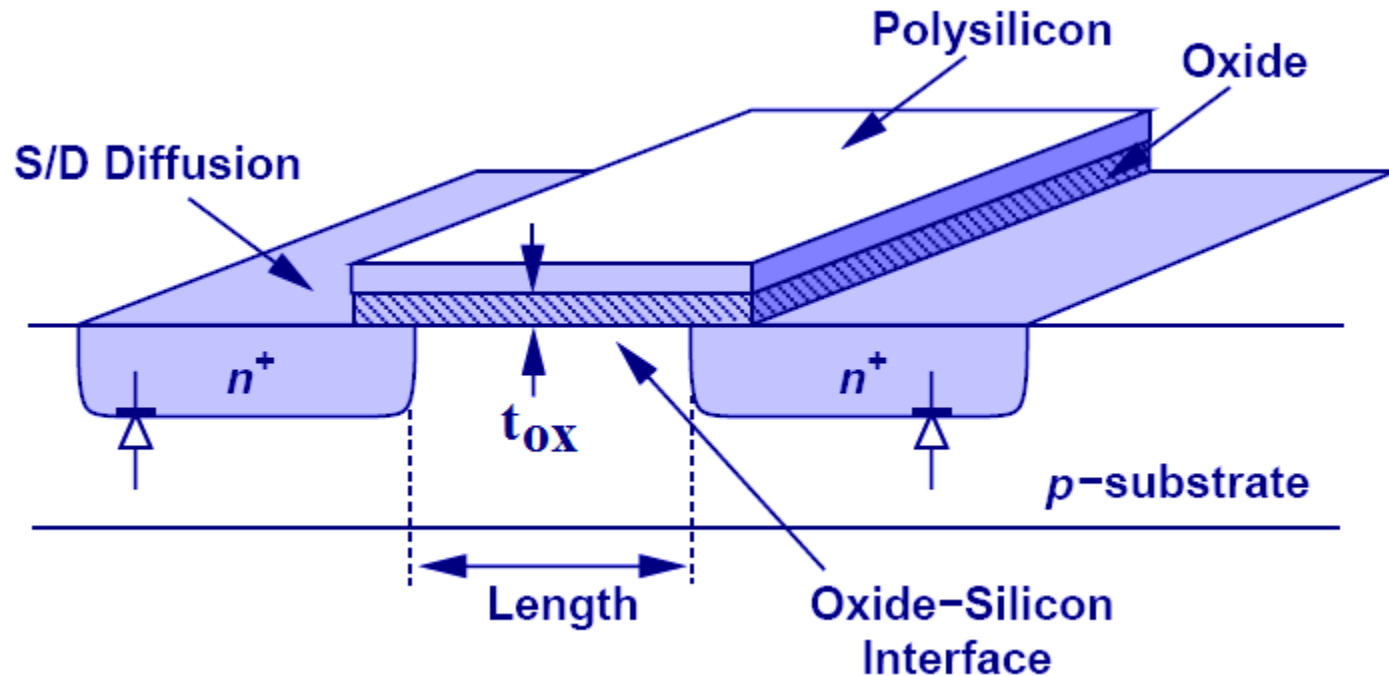
Estrutura do Transistor nMOSFET



O transistor é simétrico, a região de dopagem n^+ pode ser fonte ou dreno.

Transistores MOSFET

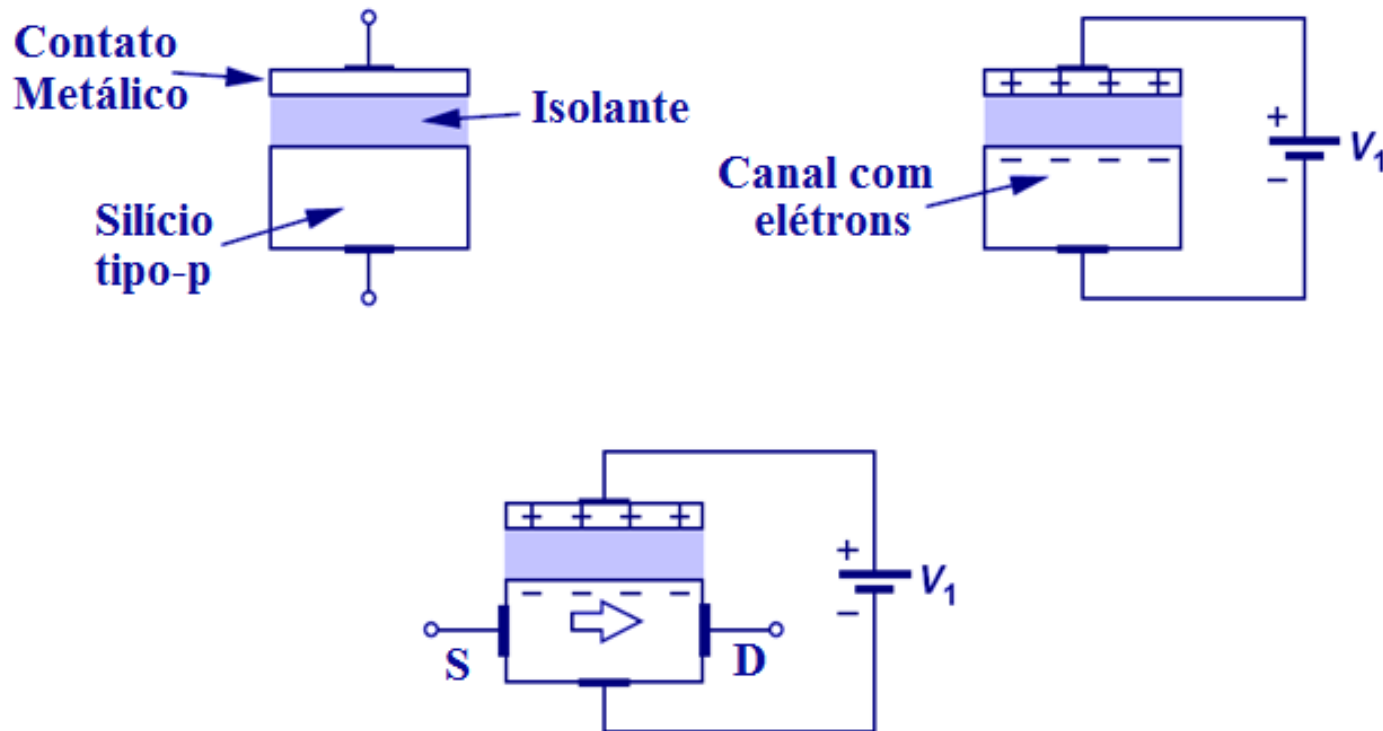
Estrutura do Transistor nMOSFET



A porta do transistor pode ser formado por polisilício ou outros tipos de materiais condutores (metais).

Transistores MOSFET

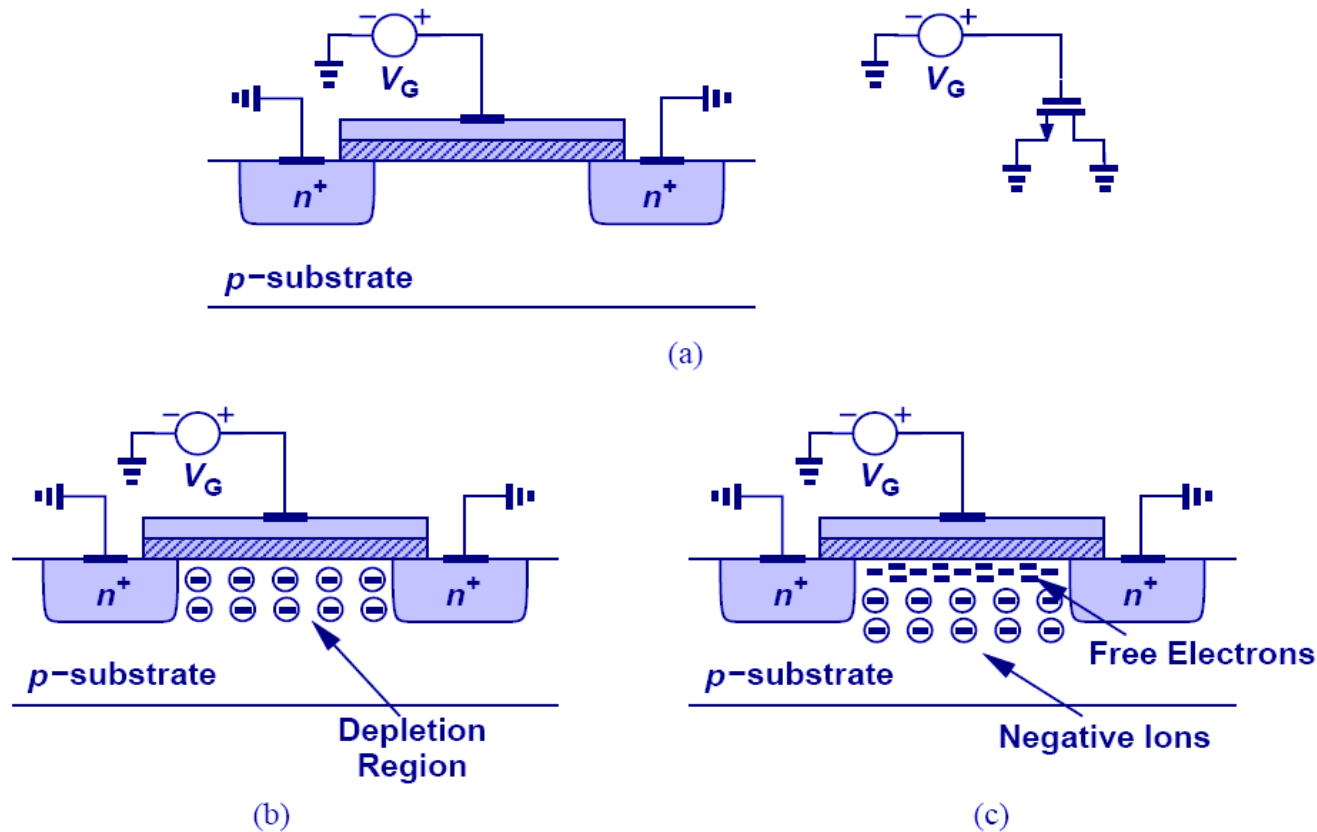
Formação do canal tipo n



Capacitor de placas paralelas, onde o contato metálico é o terminal com cargas positivas, o óxido é o dielétrico e o substrato é o terminal com cargas negativas

Transistores MOSFET

Formação do canal tipo n

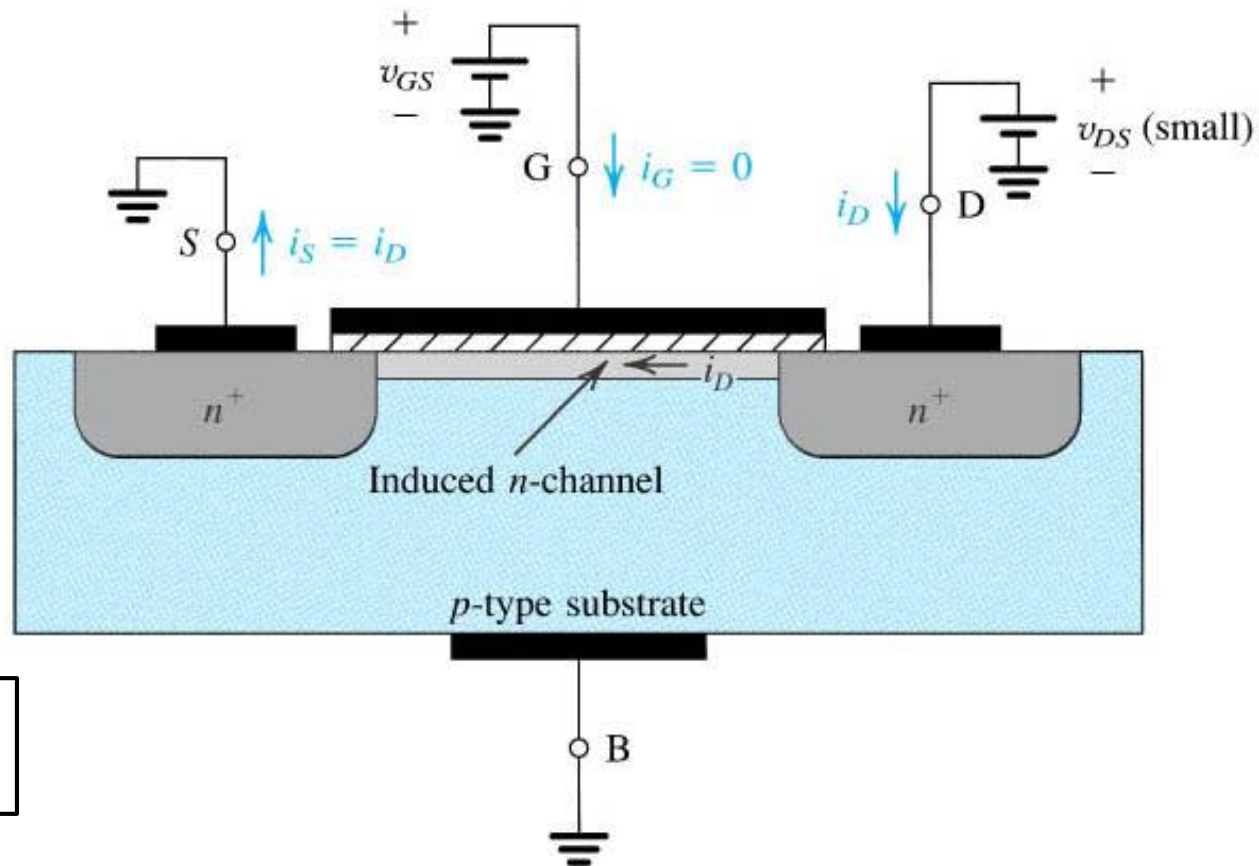


As lacunas são repelidas pelo potencial positivo na porta, deixando íons negativos, formando a região de depleção.

Os elétrons livres são atraídos para a interface, criando a região de inversão (canal).

Transistores MOSFET

Formação do canal tipo n



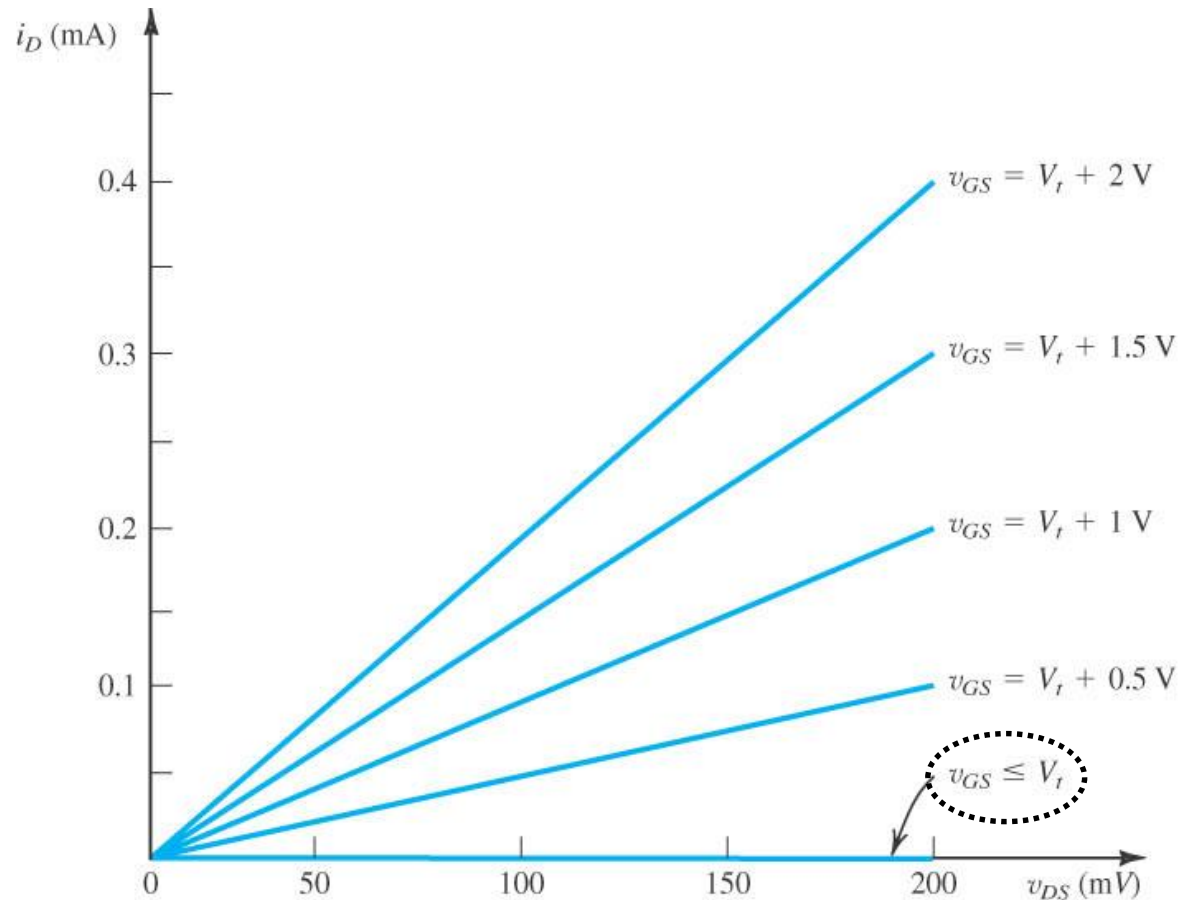
$$V_{GS} > V_t$$

V_{DS} pequeno

Transistor funciona como um resistor linear cujo valor é controlado por V_{GS} .

Transistores MOSFET

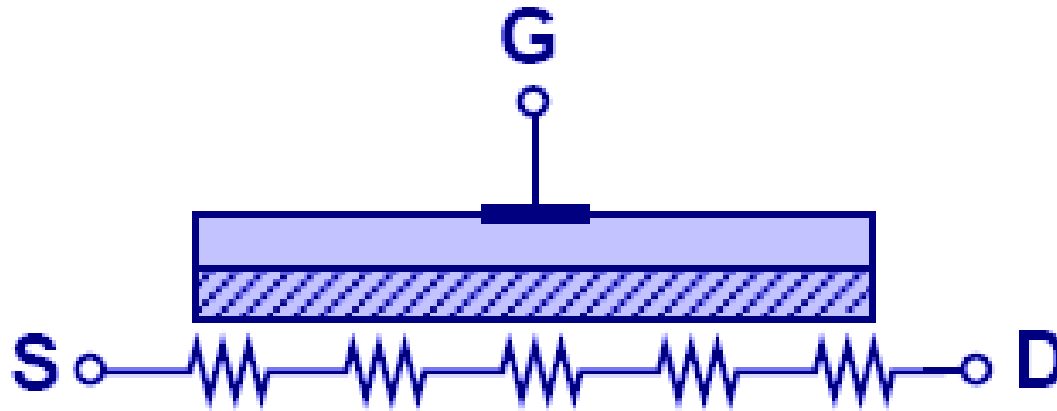
Curva característica $i_D \times v_{DS}$ – Transistor nMOS



Transistor funciona como um resistor linear cujo valor é controlado por V_{GS} .

Transistores MOSFET

Resistor Controlado por Tensão

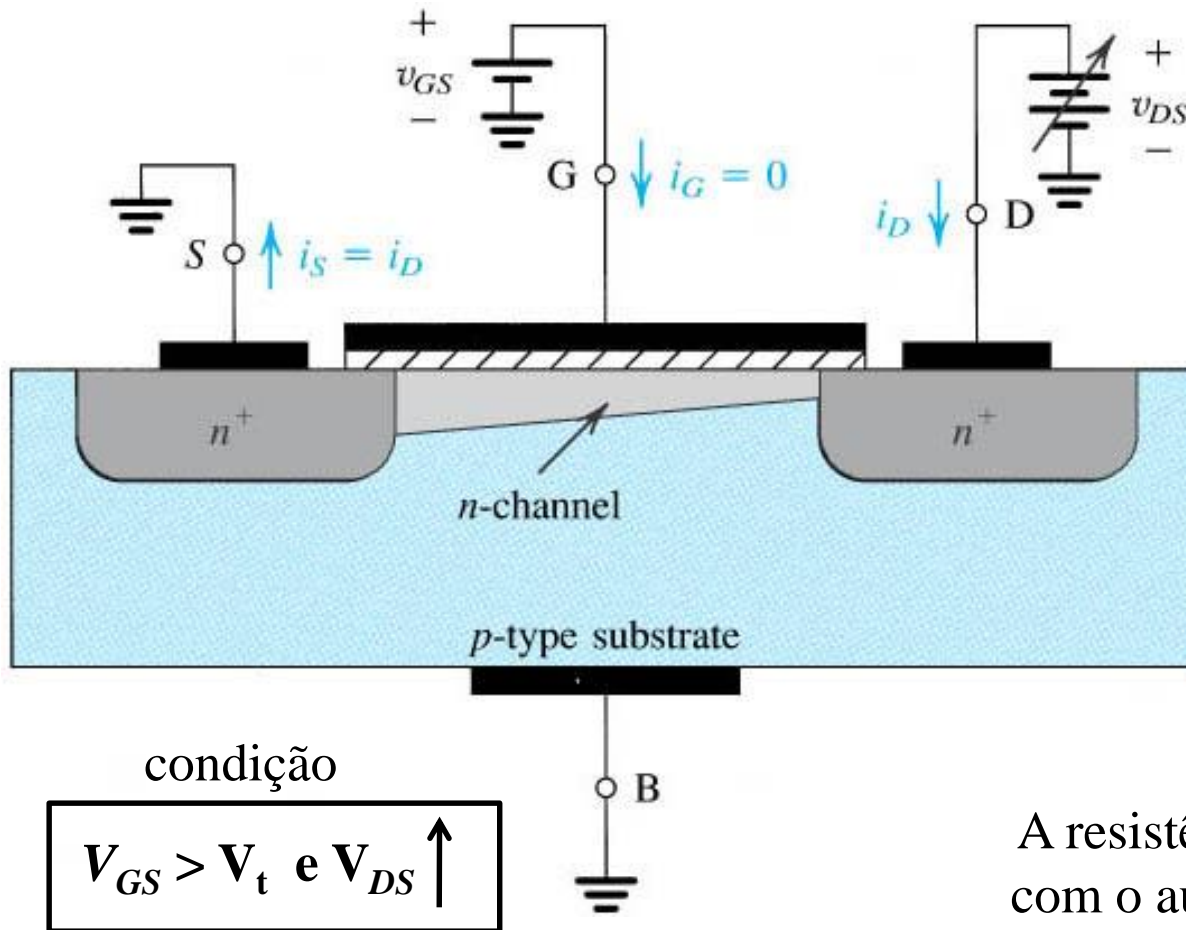


A camada de inversão pode ser vista como um resistor.

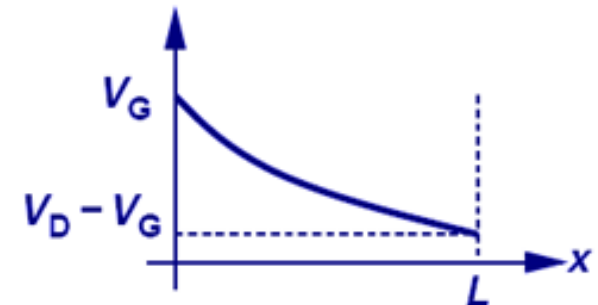
Como a carga no canal depende da tensão de porta, a resistência do canal é dependente de V_{GS} .

Transistores MOSFET

Estreitamento do canal

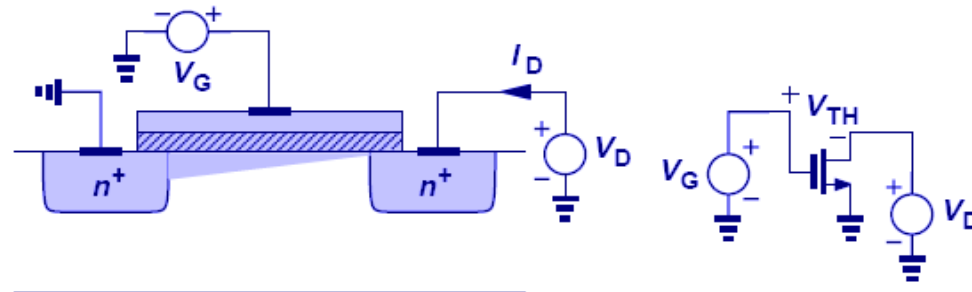
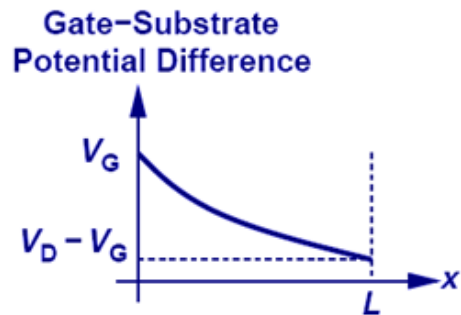
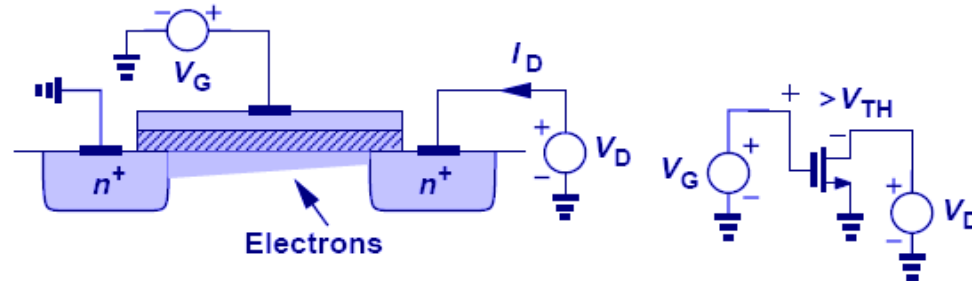


Gate-Substrate
Potential Difference

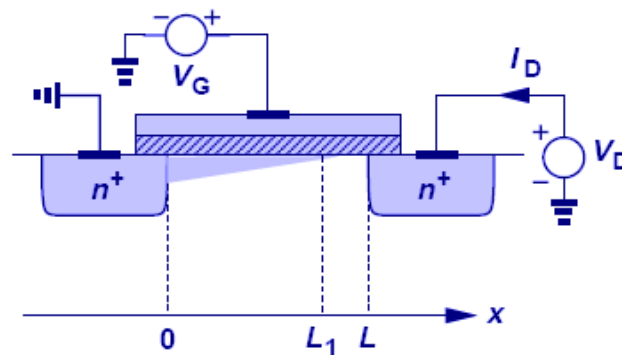


A resistência do canal aumenta com o aumento de V_{DS} (triódo).

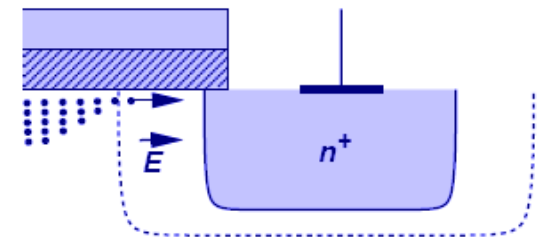
Transistores MOSFET



(a)



(b)

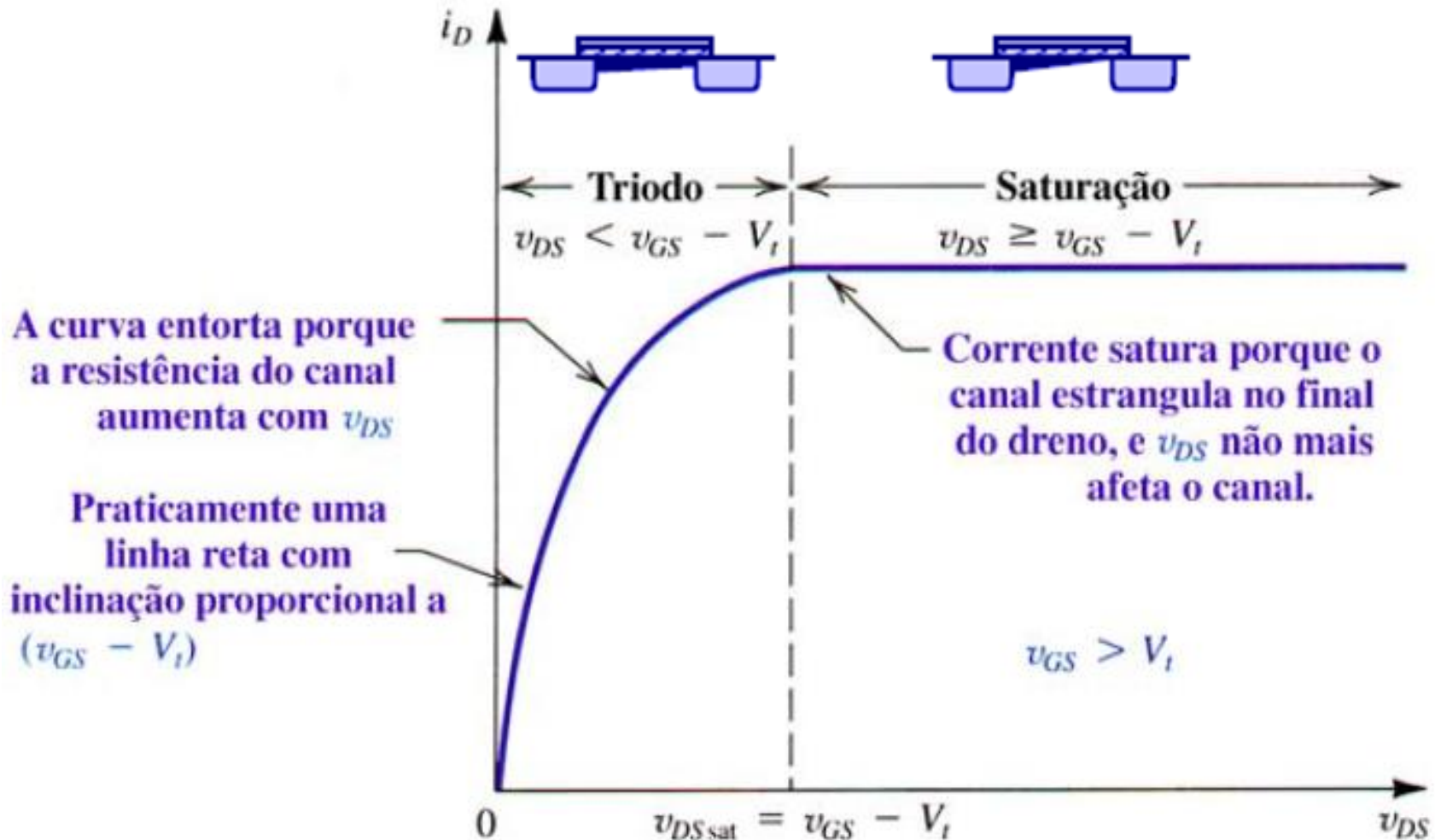


(c)

Estrangulamento do canal (*pinch off*)

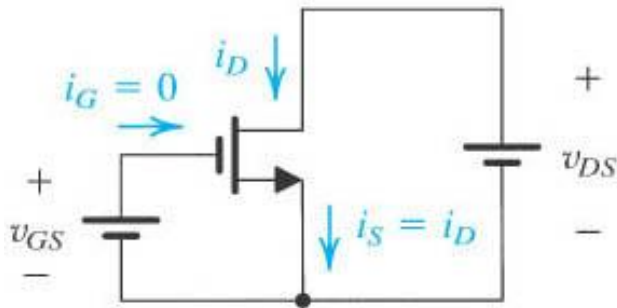
Transistores MOSFET

Curva característica $i_D \times v_{DS}$ – Transistor nMOS



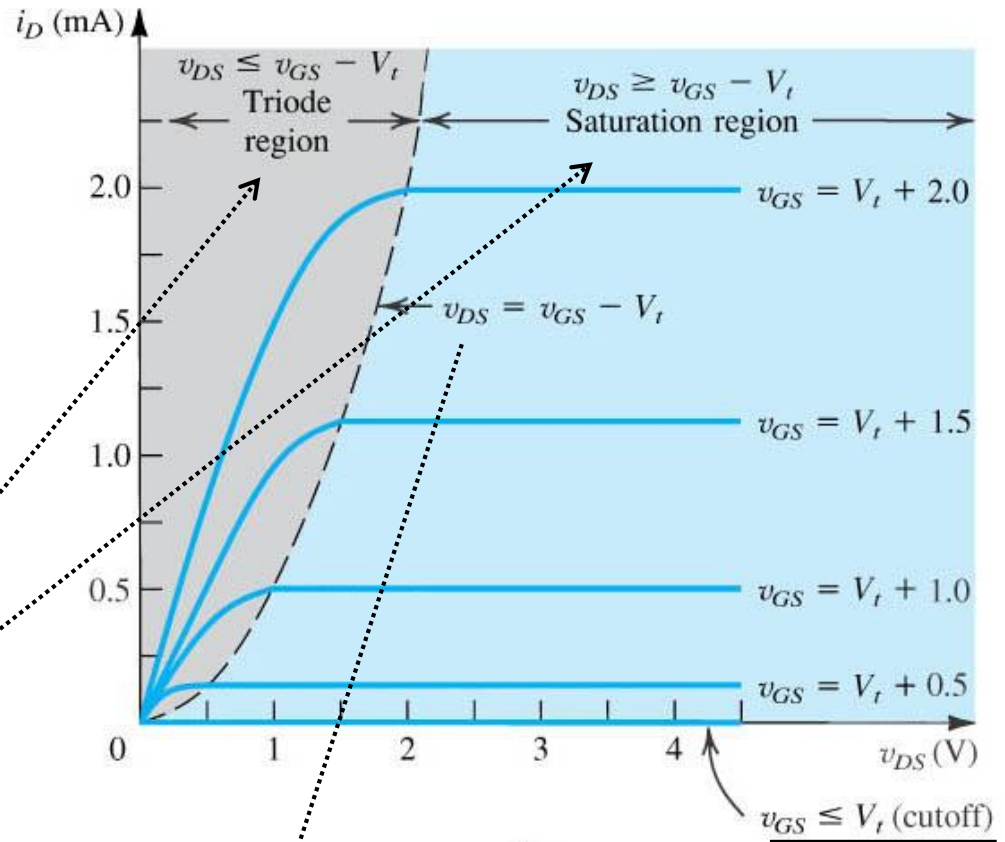
Transistores MOSFET

Curva característica $i_D \times v_{DS}$ – Transistor nMOS



$$i_D = k_n' \frac{W}{L} \left[(v_{GS} - V_t) v_{DS} - \frac{1}{2} v_{DS}^2 \right]$$

$$i_D = \frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L} (v_{GS} - V_t)^2$$

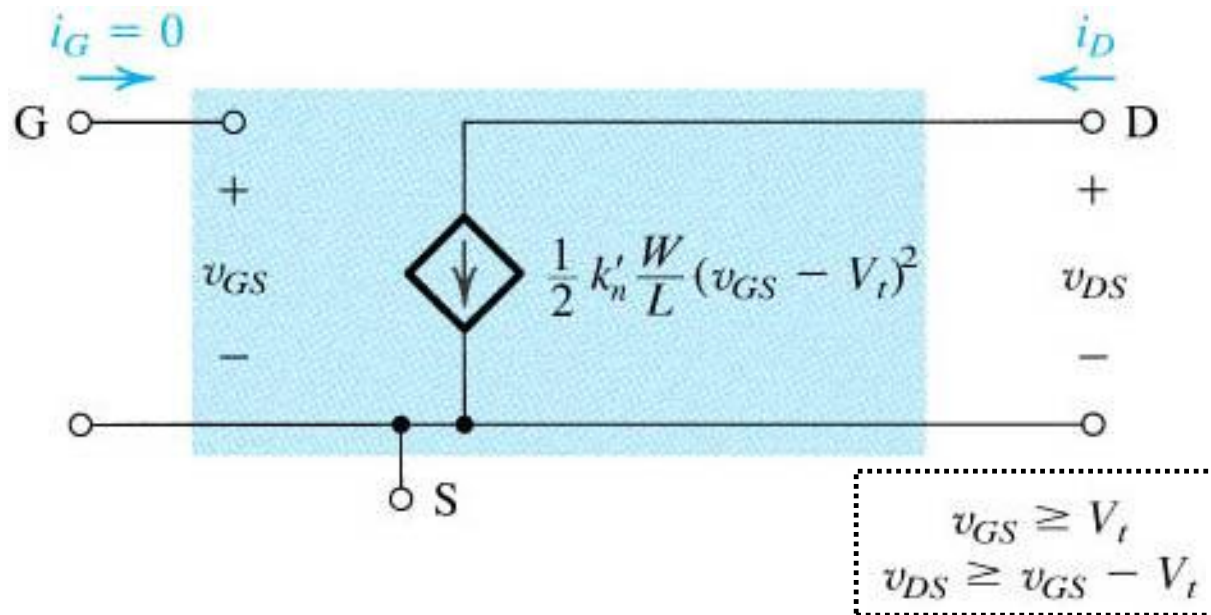


para $v_{DS} = v_{GS} - V_t$
$$i_D = \frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L} (v_{DS})^2$$

Transistores MOSFET

Modelo equivalente para **grande sinais** do transistor nMOS operando na saturação

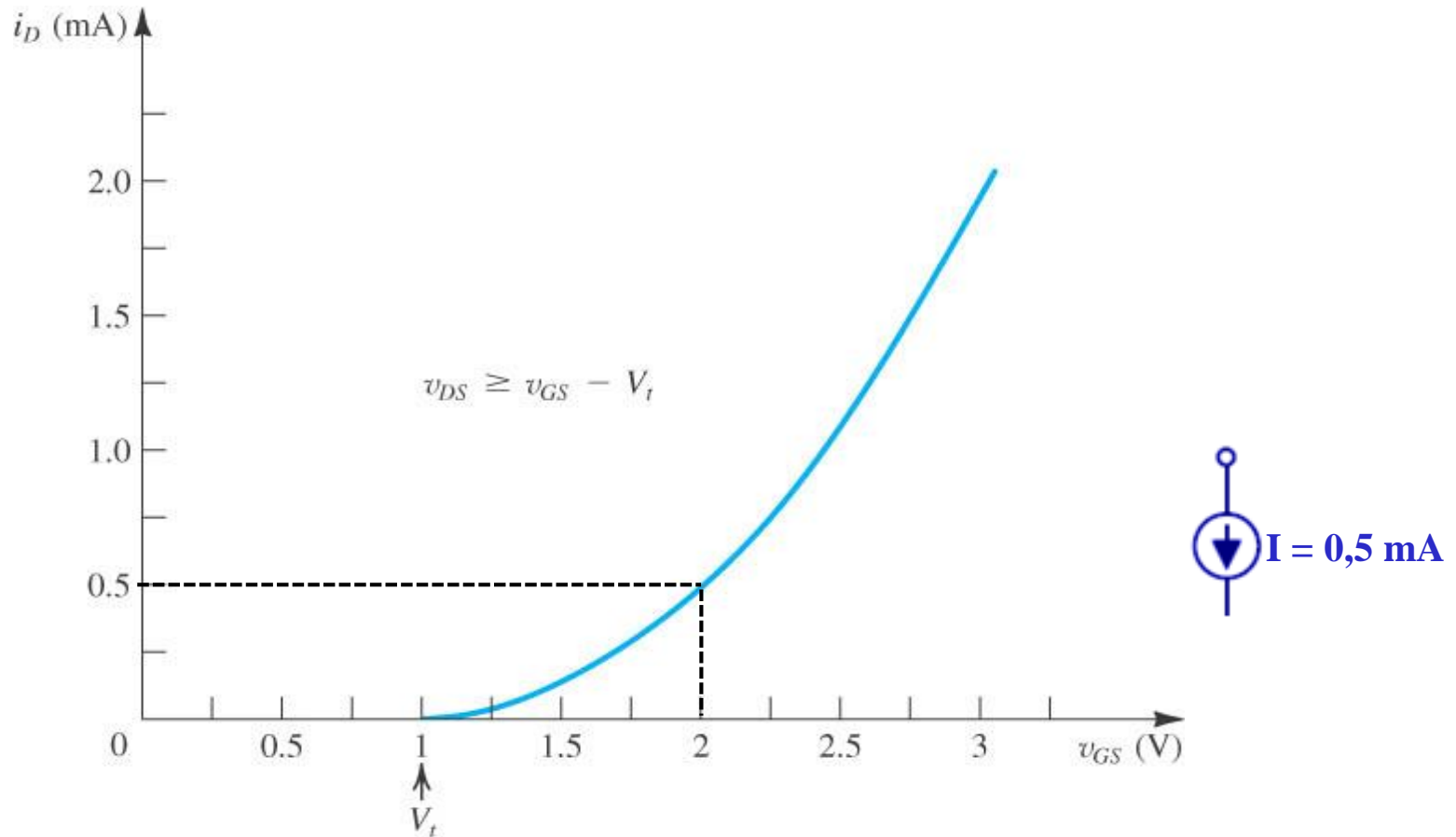
$$\lambda = 0$$



Obs: r_o infinito.

Transistores MOSFET

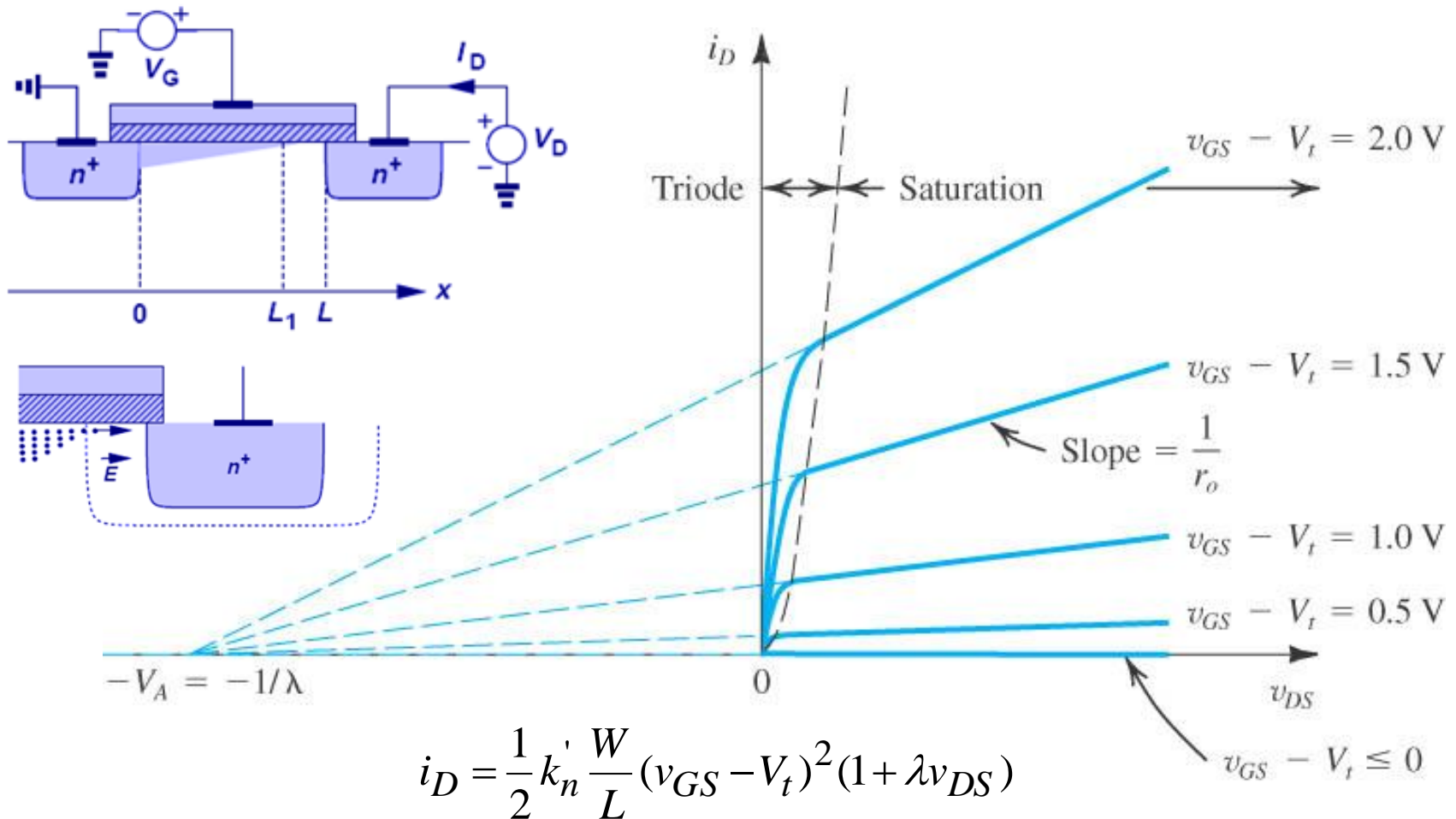
Característica i_D x v_{GS} do Transistor nMOS na saturação.



Transistor operando como fonte de corrente controlado por v_{GS}

Transistores MOSFET

Modulação do comprimento do canal

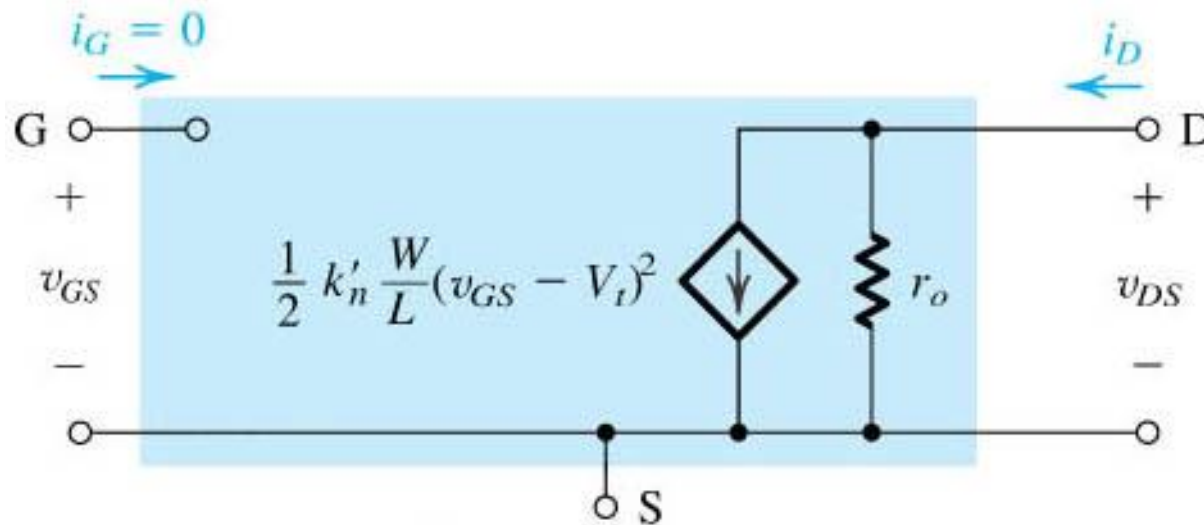


A corrente no canal aumenta com o aumento de v_{DS} !!

Transistores MOSFET

Modelo equivalente para **grandes sinais** do transistor nMOS operando na saturação.

$$\lambda \neq 0$$



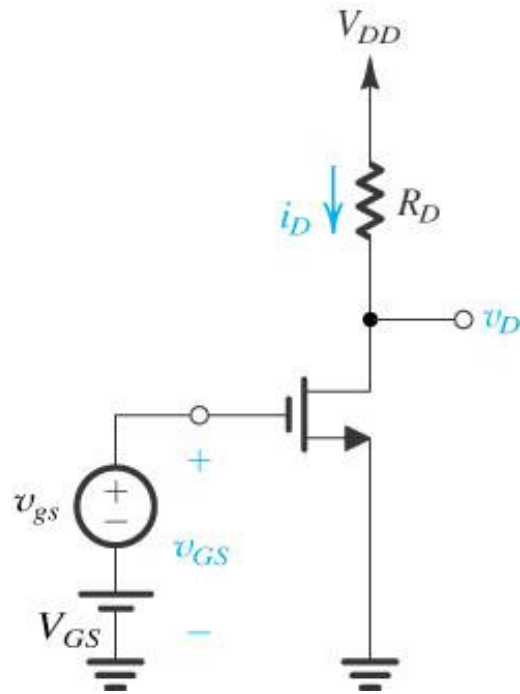
$$r_o = \left. \frac{\partial v_{DS}}{\partial i_D} \right|_{v_{GS} \text{ const.}}$$

$$r_o = \frac{1}{\lambda I_D^*} \quad \text{ou} \quad r_o = \frac{V_A}{I_D^*}$$

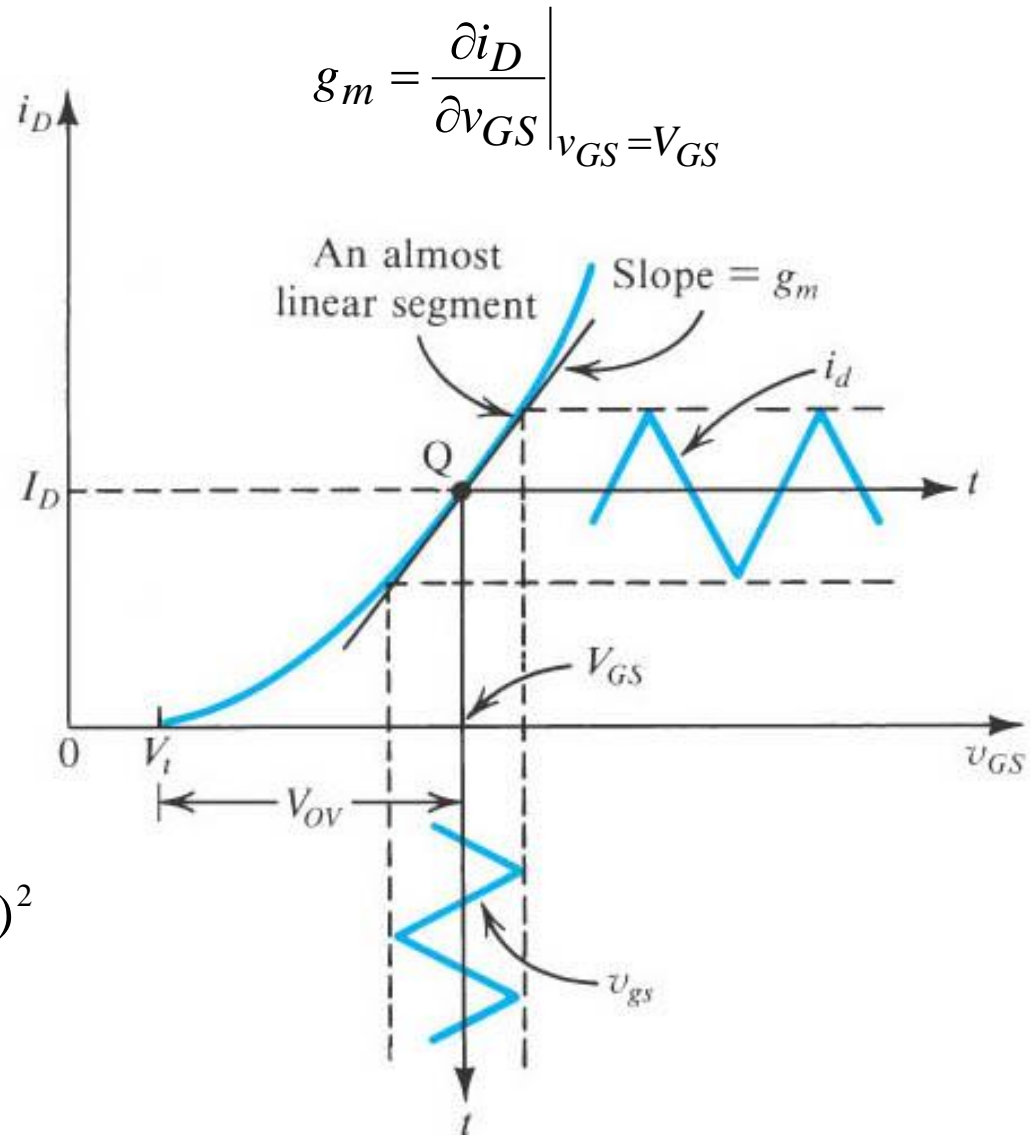
* I_D é a corrente sem o efeito de modulação de canal

Transistores MOSFET

Transcondutância (g_m)



$$i_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} + v_{gs} - V_t)^2$$



Transistores MOSFET

Transcondutância (g_m)

I_D
↑

i_d
↑

??
↑

$$i_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 + k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) v_{gs} + \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} v_{gs}^2$$

Pequenos sinais: $v_{gs} \ll 2(V_{GS} - V_t)$

$$g_m = \frac{i_d}{v_{gs}} = k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)$$

i_d e v_{gs} somente pequenos sinais (ac)

Transistores MOSFET

Transcondutância (g_m)

$\frac{W}{L}$ Constant $V_{GS} - V_T$ Variable	$\frac{W}{L}$ Variable $V_{GS} - V_T$ Constant	$\frac{W}{L}$ Variable $V_{GS} - V_T$ Constant
$g_m \propto \sqrt{I_D}$ $g_m \propto V_{GS} - V_T$	$g_m \propto I_D$ $g_m \propto \frac{W}{L}$	$g_m \propto \sqrt{\frac{W}{L}}$ $g_m \propto \frac{1}{V_{GS} - V_T}$

$$g_m = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)$$

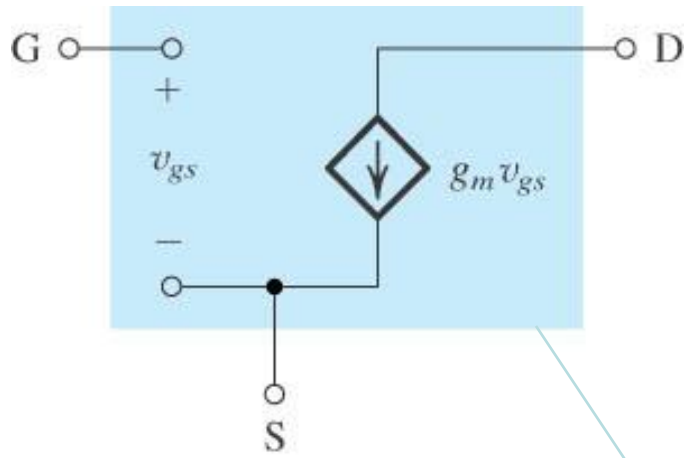
$$g_m = \sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_D}$$

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_t}$$

$$g_{mBJT} > g_{mMOS}$$

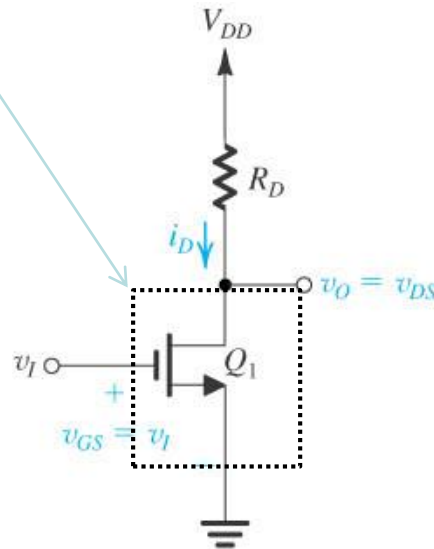
Transistores MOSFET

Modelo de pequenos sinais - π

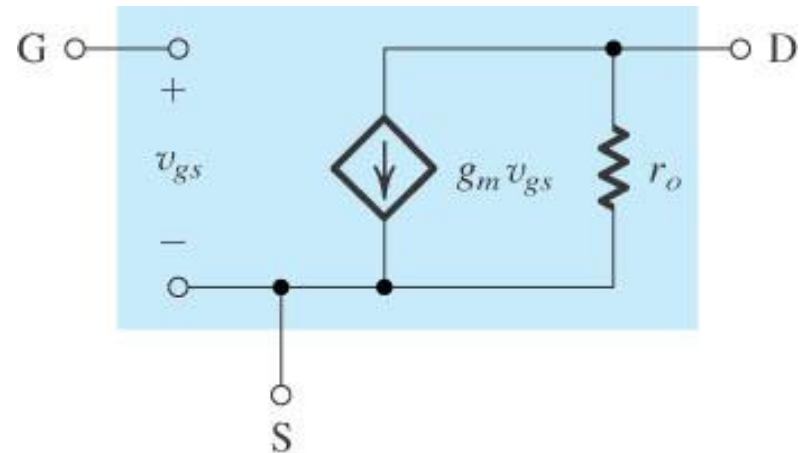


(a)

$$A_v = -g_m * R_D$$



Incluindo o efeito da tensão de *Early*



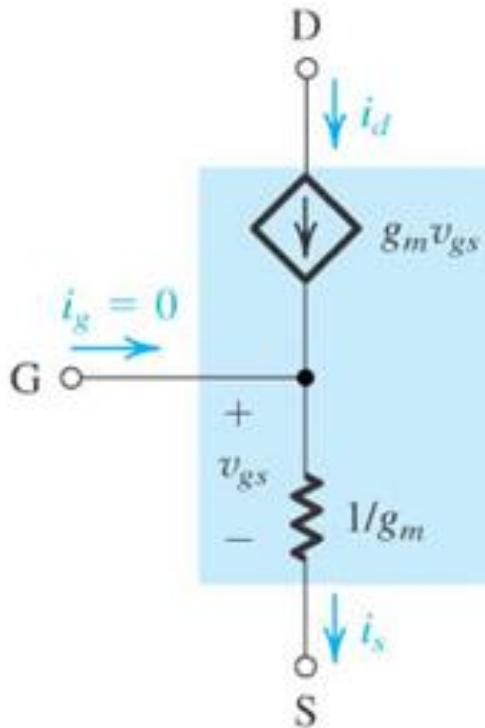
(b)

$$A_v = -g_m * (R_D // r_o)$$

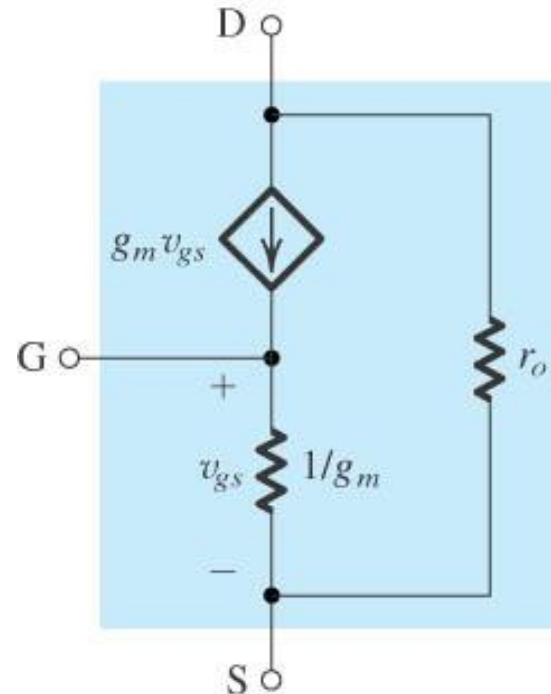
$$r_o = \frac{|V_A|}{I_D}$$

Transistores MOSFET

Modelo de pequenos sinais - T



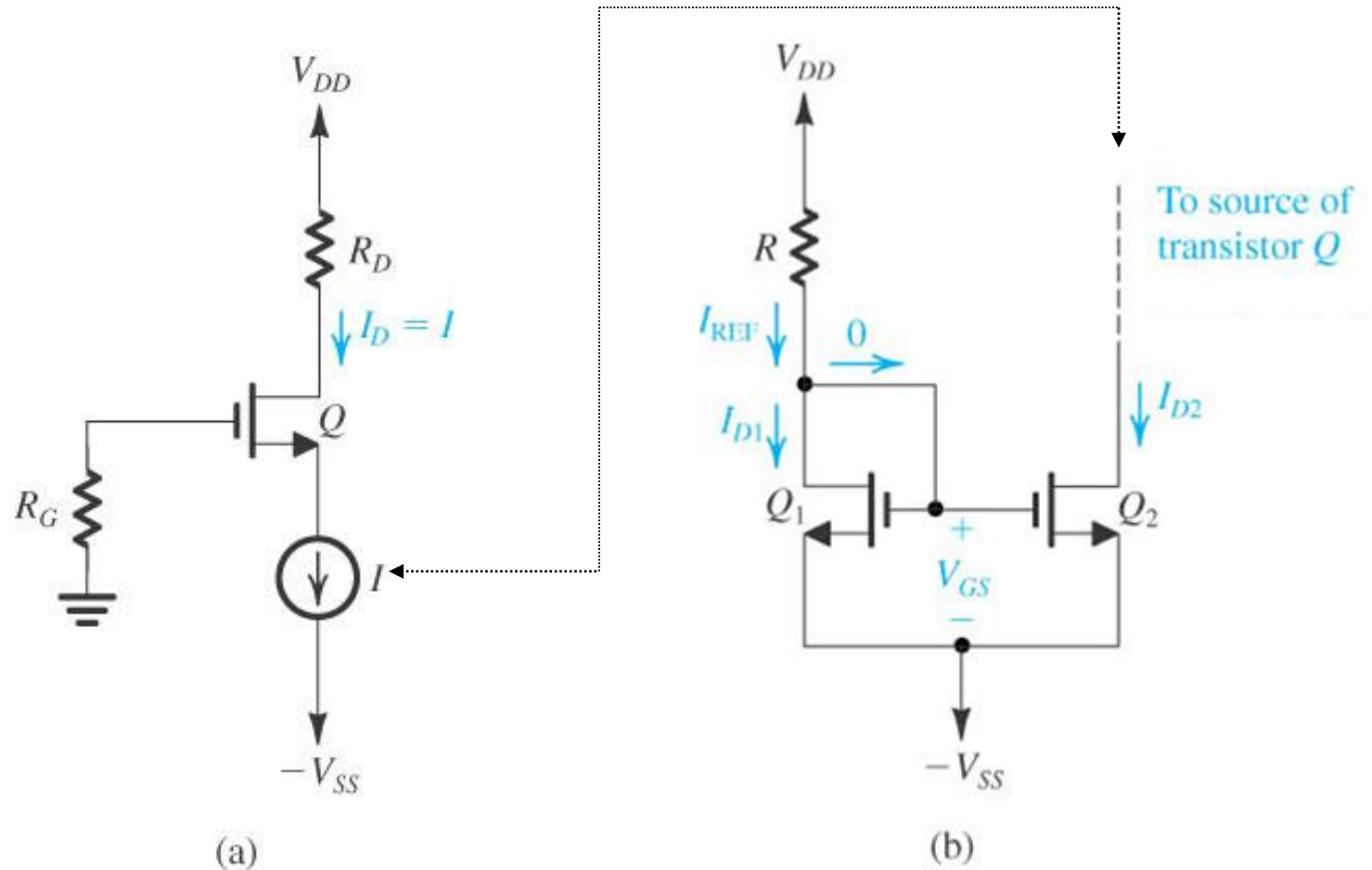
Incluindo o efeito da tensão de *Early*



A **resistência** entre fonte e porta, olhando pela fonte é $1/g_m$.

Transistores MOSFET

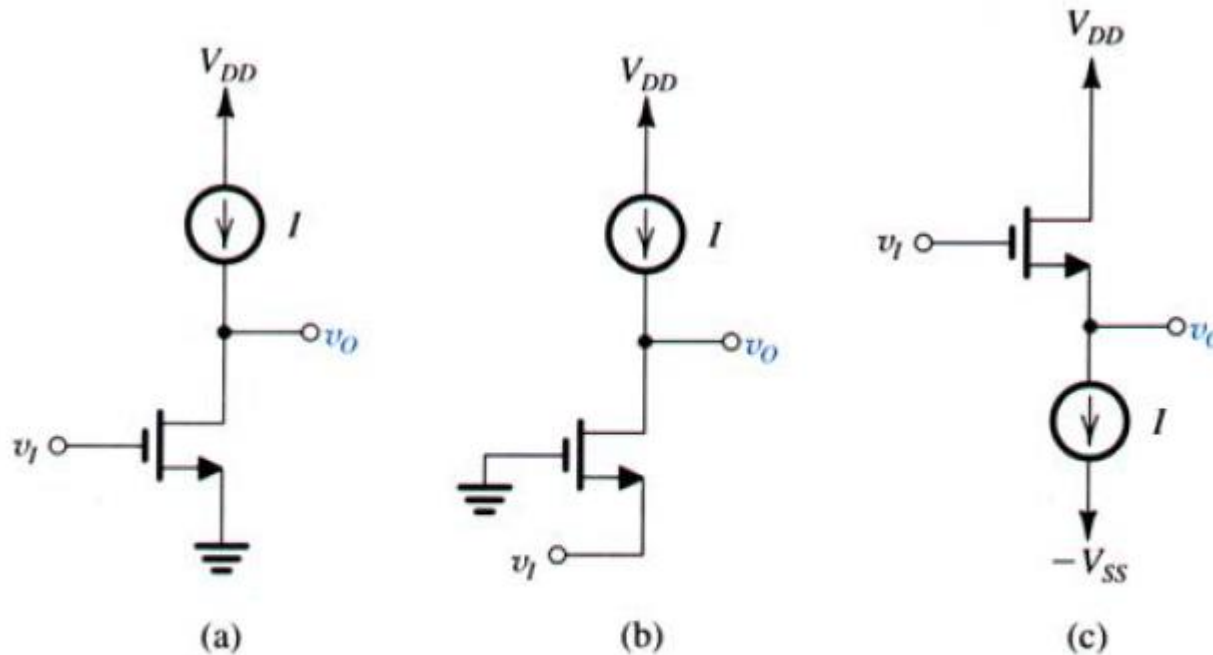
Polarização de Circuitos para Amplificadores MOS.



Fonte de corrente.

Transistores MOSFET

Configurações básicas de Amplificadores usando transistores MOS

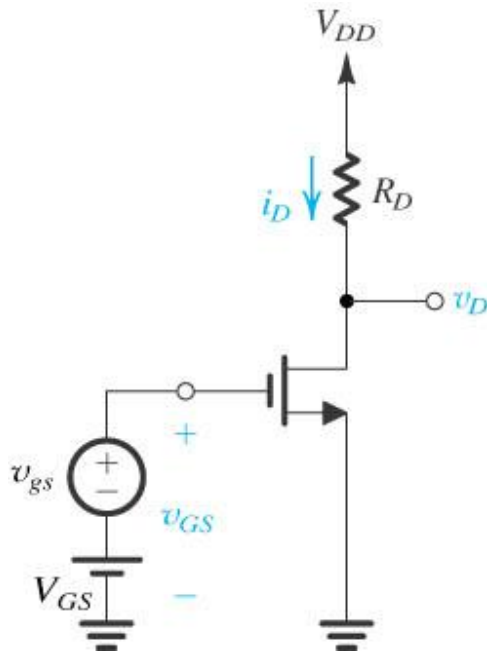


Fonte Comum, Porta Comum e Dreno Comum

Transistores MOSFET

Exemplo 1 : Considerando a circuito abaixo, encontre:

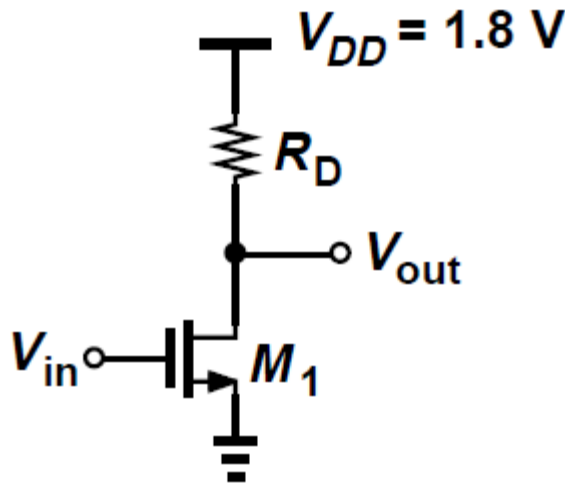
- i_D e v_D (cc).
- O valor de g_m no ponto de polarização;
- Ganho de tensão;
- Se o transistor tem $\lambda=0,01 \text{ V}^{-1}$, encontre r_o e o ganho de tensão no ponto de polarização.



$$\begin{aligned}
 V_t &= 2 \text{ V} \\
 k'_n W/L &= 1 \text{ mA/V}^2 \\
 V_{GS} &= 4 \text{ V} \\
 V_{DD} &= 10 \text{ V} \\
 R_D &= 3.6 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

Transistores MOSFET

Exemplo 2 : Deseja-se projetar um estágio de amplificação com ganho de tensão de 5 V/V usando o circuito abaixo. Qual o valor de R_D para que a potência dissipada não exceda 1mW ?



$$\frac{W}{L} = \frac{20}{0,18}$$

$$\mu_n C_{ox} = 200 \mu\text{A} / \text{V}^2$$

Transistores MOSFET

Sugestão de Estudo:

- Sedra & Smith 5ed.

 - Cap. 4, item 4.1, 4.2, 4.3 e 4.5

 - Cap. 4, item 4.6 (até 4.6.7)

- Razavi. 2ed.

 - Cap. 6.

Exercícios correspondentes.